



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10293268 A**(43) Date of publication of application: **04.11.98**

(51) Int. Cl.

G02B 27/18
G02B 19/00
G02B 26/08
H04N 5/74
H04N 9/12

(21) Application number: **09100062**(22) Date of filing: **17.04.97**(71) Applicant: **SONY CORP**

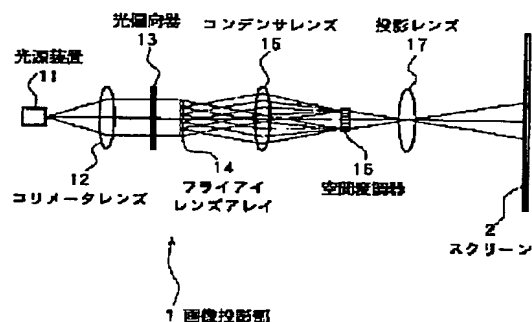
(72) Inventor: **KUBOTA SHIGEO**
EGUCHI NAOYA

(54) **LASER DISPLAY DEVICE**

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable the compatibility of ensuring a sufficiently wide color reproducing range and obtaining a sufficient output with ease.

SOLUTION: A light beam transmitted from a light source device 11 is made to be a parallel light beam by a collimator lens 12, deflected by a light deflector 13, a fly-eye lens array 14 is irradiated with the beam and a secondary light source train is formed. Each light beam from the secondary light source train is made to be a parallel light beam by a condenser lens 15, modulated by a spacial modulator 16 and an image is formed. The image is projected on a screen 2 by a projection lens 17. The light source device 11 for every color, the wavelength of red light, green light and blue light are selected within the ranges from 625 nm to 635 nm, from 525 nm to 535 nm and from 455 nm to 465 nm, respectively.



COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-293268

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

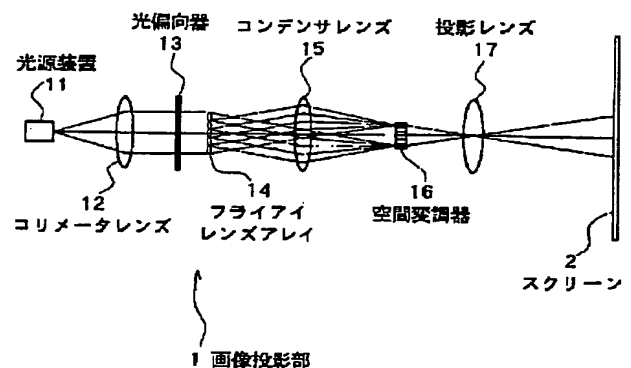
(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	F I	
G 0 2 B 27/18		G 0 2 B 27/18	A
19/00		19/00	
26/08		26/08	E
H 0 4 N 5/74		H 0 4 N 5/74	A
9/12		9/12	A
審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)			
(21) 出願番号	特願平9-100062	(71) 出願人 000002185	
(22) 出願日	平成9年(1997)4月17日	ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号	
		(72) 発明者 久保田 重夫 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ	
		株式会社内	
		(72) 発明者 江口 直哉 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ	
		株式会社内	
		(74) 代理人 弁理士 藤島 洋一郎	

(54) 【発明の名称】 レーザディスプレイ装置

(57) 【要約】

【課題】 十分広い色再現範囲の確保と、十分な出力を容易に得ることとの両立を可能にする。

【解決手段】 光源装置11から出射された光は、コリメータレンズ12によって平行光束とされ、光偏向器13によって偏向されてフライアイレンズアレイ14に照射され、2次光源列が形成される。2次光源列からの各光は、コンデンサレンズ15によって平行光束とされ、空間変調器16によって変調されて画像が形成される。この画像は、投影レンズ17によって、スクリーン2に投射される。各色毎の光源装置11では、赤色光の波長を625nmから635nmの範囲に選定し、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定し、青色光の波長を455nmから465nmの範囲に選定している。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザを用いて単一波長の赤、緑、青の3原色の光を生成する光源装置を備え、この光源装置によって生成される3原色の光を用いてカラー画像の表示を可能としたレーザディスプレイ装置において、前記光源装置によって生成される赤色光の波長が625ナノメートルから635ナノメートルの範囲に選定され、前記光源装置によって生成される青色光の波長が455ナノメートルから465ナノメートルの範囲に選定されていることを特徴とするレーザディスプレイ装置。

【請求項2】 前記光源装置によって生成される緑色光の波長が525ナノメートルから535ナノメートルの範囲に選定されていることを特徴とする請求項1記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項3】 前記光源装置は、赤、緑、青の3原色の光のうちの少なくとも一つを、固体レーザの連続的且つコヒーレントな出力光、または固体レーザの出力光の波長変換によって生成される光に基づいて生成される連続的且つコヒーレントな光とすることを特徴とする請求項1記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項4】 光を空間的に変調して画像を形成するための空間的光変調手段と、前記光源装置からの光を集光して前記空間的光変調手段に照射するためのコンデンサレンズと、前記空間的光変調手段によって形成された画像をスクリーン上に投影する投影レンズとを備えたことを特徴とする請求項1記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項5】 前記光源装置と前記コンデンサレンズとの間に設けられ、前記光源装置からの光を偏向するための光偏向手段と、

この光偏向手段と前記コンデンサレンズとの間に設けられ、前記光偏向手段によって偏向された光を均一化して前記コンデンサレンズに入射させるフライアイレンズアレイとを備え、

前記光偏向手段は、前記空間的光変調手段におけるフレーム周波数よりも高い周波数で光を偏向することを特徴とする請求項4記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項6】 前記光偏向手段は、前記光源装置からの光の波長を λ 、前記フライアイレンズアレイの各エレメントの開口の大きさを d としたとき、 λ/d よりも大きい偏向角で光を偏向することを特徴とする請求項5記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項7】 前記光偏向手段は、電磁駆動型共振振動鏡を有することを特徴とする請求項5記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項8】 前記光源装置からの光の波長を λ 、前記フライアイレンズアレイの各エレメントの開口の大きさを d 、前記空間的光変調手段の画素周期を p としたとき、前記コンデンサレンズの焦点距離が $p \cdot d/\lambda$ であることを特徴とする請求項5記載のレーザディスプレイ

装置。

【請求項9】 前記空間的光変調手段として反射型の空間的光変調器を用い、前記空間的光変調器の前面側に配設された4分の1波長板と、前記コンデンサレンズからの光を反射して、前記4分の1波長板を通して前記空間的光変調手段に対して略垂直に入射させると共に、前記空間的光変調手段によって変調され、前記4分の1波長板を通過した光を透過して、前記投影レンズに入射させる偏光ビームスプリッタとを備えたことを特徴とする請求項4記載のレーザディスプレイ装置。

【請求項10】 前記コンデンサレンズは、負の歪曲収差を有することを特徴とする請求項4記載のレーザディスプレイ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、レーザ光を利用して、静止画もしくは動画をスクリーン上に投影表示するためのレーザディスプレイ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 レーザディスプレイ装置には、単一波長の3原色の光を用い、カラー画像表示を可能とした装置もある。従来、このようなカラー画像表示可能なレーザディスプレイ装置としては、単一波長の赤、緑、青を3原色に用いると共に、各色光のレーザ光を出射するレーザとして気体レーザを用いたものが知られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上述のような気体レーザを用いたカラー表示可能なレーザディスプレイ装置では、特に視感度が低下する赤と青に対して十分な出力を持つ気体レーザを採用する必要があり、従来、赤用にはクリプトン・イオン・レーザ、緑用および青用にはアルゴン・イオン・レーザが用いられてきた。この場合、赤色光の波長は647nm（ナノメートル）、緑色光の波長は515nm、青色光の波長は488nmになる。

【0004】 しかしながら、赤、緑、青の各色の光の波長として上述のような波長を選択した場合には、青色光の波長が長すぎるため、青や紫の色再現が困難となり、XY色度図上で、十分広い色再現範囲を確保することができないという問題点がある。

【0005】 そこで、青色光の波長として、アルゴン・イオン・レーザの別の青の輝線の波長476nmを用いて色再現範囲が青や紫をカバーするように広げることも考えられるが、その場合には、アルゴン・イオン・レーザにおける波長476nmの出力が、488nmの出力よりも相対的に低いため、電気-光エネルギー変換効率が一層低下し、大掛かりな電源装置が必要になる等、レーザディスプレイ装置の構成が複雑化すると共に大型化するという問題点がある。

【0006】 このように、従来は、レーザディスプレイ装置において、十分広い色再現範囲の確保と、十分な出

力を容易に得ることとの両立が困難であった。

【0007】また、レーザディスプレイ装置では、コヒーレントなレーザ光を使用するため、スクリーン上に干渉によるスペックル雑音が見れるという問題点があった。

【0008】本発明はかかる問題点に鑑みてなされたもので、その第1の目的は、十分な色再現範囲の確保と、十分な出力を容易に得ることとの両立を可能にしたレーザディスプレイ装置を提供することにある。

【0009】本発明の第2の目的は、上記目的に加え、スクリーン上のスペックル雑音を低減することができるようにしたレーザディスプレイ装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明のレーザディスプレイ装置は、光源装置によって生成される赤色光の波長が625ナノメートルから635ナノメートルの範囲に選定され、光源装置によって生成される青色光の波長が455ナノメートルから465ナノメートルの範囲に選定されているものである。

【0011】本発明のレーザディスプレイ装置では、赤色光の波長を625ナノメートルから635ナノメートルの範囲に選定し、青色光の波長を455ナノメートルから465ナノメートルの範囲に選定することによって、十分な色再現範囲が確保されると共に、赤、緑、青の3原色の光のうち特に視感度が低下する赤色光と青色光について十分な出力を容易に得ることが可能となる。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図2は、本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置の概略の構成を示す説明図である。本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置は、単一波長の赤、緑、青を3原色を用いてカラー画像表示を可能とするものであり、スクリーン2に対して赤色画像を投影するための赤色画像投影部1Rと、スクリーン2に対して緑色画像を投影するための緑色画像投影部1Gと、スクリーン2に対して青色画像を投影するための青色画像投影部1Bとを備えている。各画像投影部1R、1G、1Bは、互いに近接した位置に配置され、スクリーン2上で、各色画像の対応する部分同士が重なり合うように、各色画像をスクリーン2に投影するようになっている。スクリーン2は、反射型でもよいし、透過型でもよい。

【0013】図1は、図2における画像投影部1（1R、1G、1Bを代表する。）の概略の構成を示す説明図である。画像投影部1は、レーザを用いて単一波長の光を生成し、出射する光源装置11を備えている。この光源装置11は、点光源とみなすことができる。赤色画像投影部1Rにおける光源装置11は、単一波長の赤色

光を生成し、緑色画像投影部1Gにおける光源装置11は、単一波長の緑色光を生成し、青色画像投影部1Bにおける光源装置11は、単一波長の青色光を生成する。本実施の形態では、赤色光の波長を625nmから635nmの範囲に選定し、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定し、青色光の波長を455nmから465nmの範囲に選定している。

【0014】画像投影部1は、更に、光源装置11から出射された光を平行光束にするコリメータレンズ12と、このコリメータレンズ12からの光を所定の周波数および偏向角で偏向する偏向手段としての光偏向器13と、この光偏向器13によって偏向された光を均一化するフライアイレンズアレイ14と、このフライアイレンズアレイ14を通過した光を集光するコンデンサレンズ15と、このコンデンサレンズ15を通過した光によって照明され、光を空間的に変調して画像を形成するための空間光変調手段としての空間変調器16と、この空間変調器16によって形成された画像をスクリーン2に投影する投影レンズ17とを備えている。

【0015】光偏向器13としては、例えば、光を反射する鏡面を振動させて光を偏向する振動鏡を用いることができる。振動鏡としては、特に、鏡面を機械的な共振点で振動させると共に、鏡面をボイスコイル等によって電磁駆動する電磁駆動型共振振動鏡を用いることができる。なお、振動鏡としては、この他に、ピエゾ素子等を用いて鏡面を振動させるものでもよい。

【0016】フライアイレンズアレイ14は、複数の小さなレンズ（本出願においてエレメントと言う。）を並べたアレイ状のレンズであり、各エレメントが2次光源を形成する。本実施の形態では、フライアイレンズアレイ14は、2次光源列をコンデンサレンズ15の前側焦点面に形成し、コンデンサレンズ15は、この2次光源列からの各光をそれぞれ平行光束として空間変調器16に照射して、空間変調器16を均一に照明するようになっている。

【0017】空間変調器16は、例えば、30万から100万程度の画素数を有し、表示する映像に対応する映像信号に基づいて、通過する光を空間的に変調して、画像を形成するようになっている。投影レンズ17は、空間変調器16によって形成された画像を、スクリーン2上に拡大投影するようになっている。

【0018】図3は、図1に示した画像投影部1の詳細な構成の一例を示す説明図である。図3に示した例における画像投影部1では、光偏向器13として、電磁駆動型共振振動鏡等の振動鏡を用い、空間変調器16として反射型の空間変調器を用いている。また、図3に示した例における画像投影部1は、更に、反射型の空間変調器16の前面側に配設された4分の1波長板17と、コンデンサレンズ15からの光を反射して、4分の1波長板17を通して空間光変調器16に対して略垂直に入射さ

せると共に、空間光変調器16によって変調され、4分の1波長板18を通過した光を透過して、投影レンズ17に入射させる偏光ビームスプリッタとしての偏光ビームスプリッティング板19とを備えている。

【0019】反射型の空間変調器16としては、例えば、反射型の液晶ライトバルブや、機械的な動作によって光の反射、透過、回折等を制御して光を空間的に変調するもの（例えば、デジタルマイクロミラーデバイス（米国テキサス・インスツルメント社の商品名））等を用いることができる。

【0020】次に、図3に示した画像投影部1の作用について説明する。光源装置11から出射された直線偏光の光は、コリメータレンズ12によって平行光束とされ、光偏向器13によって偏向されてフライアイレンズアレイ14に照射され、このフライアイレンズ14によって、2次光源列が形成される。この2次光源列からの各光は、それぞれコンデンサレンズ15によって平行光束とされ、偏光ビームスプリッティング板19で反射され、4分の1波長板18を通過して円偏光の光となって、空間変調器16に対して略垂直に入射する。空間変調器16によって空間的に変調された光は、再度、4分の1波長板18を通過して、往路における光とは偏光方向が直交する直線偏光となって偏光ビームスプリッティング板19に入射し、この偏光ビームスプリッティング板19を透過し、投影レンズ17によって、スクリーン2に投射される。スクリーン2には、赤色画像投影部1R、緑色画像投影部1Gおよび青色画像投影部1Bによって、赤色画像、緑色画像および青色画像が、重ね合わさるように投影され、その結果、スクリーン2上にカラー画像が表示される。

【0021】図3に示したように、反射型の空間変調器16と、4分の1波長板18と、偏光ビームスプリッティング板19とを用いることによって、反射型の空間変調器16に対して略垂直に光を入射させることが可能となると共に、光を効率的に利用することが可能となる。

【0022】ところで、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置は、単一波長の赤、緑、青の各光を使用するが、その3つの光のうちの少なくとも一つは、連続発振可能な固体レーザの連続的且つコヒーレントな出力光、または固体レーザの出力光の波長変換によって生成される光に基づいて生成される連続的且つコヒーレントな光とすることができる。

【0023】ここで、赤、緑、青の各光の発生方法の一例について、図4ないし図6を参照して説明する。図4は、赤色光の発生方法の一例を示す概念図である。この例では、固体レーザとしての半導体レーザ励起ネオジウム・ヤグ（Nd:YAG）レーザの出力光のうちの波長1.064 μ mの基本波を非線形光学媒質21を通してパラメトリック発振によって得られる波長1.57 μ mと波長3.3 μ mの赤外光のうちの波長1.57 μ mの

赤外光と、ネオジウム・ヤグレーザの波長1.064 μ mの基本波とを、非線形光学媒質22を通して和周波数成分である波長0.63 μ m（630nm）の赤色光を発生させている。

【0024】図5は、緑色光の発生方法の一例を示す概念図である。この例では、ネオジウム・ヤグレーザの波長1.064 μ mの基本波を非線形光学媒質23を通して、第2高調波である波長0.532 μ m（532nm）の緑色光を発生させている。

【0025】図6は、青色光の発生方法の一例を示す概念図である。この例では、ネオジウム・ヤグレーザの波長1.064 μ mの基本波を非線形光学媒質24を通して発生される第2高調波である波長0.532 μ mの光と、ネオジウム・ヤグレーザの波長1.064 μ mの基本波を非線形光学媒質25を通してパラメトリック発振によって得られる波長1.57 μ mと波長3.3 μ mの赤外光のうちの波長3.3 μ mの赤外光とを、非線形光学媒質26を通して和周波数成分である波長0.46 μ m（460nm）の青色光を発生させている。

【0026】非線形光学媒質21、22、24～26としては、例えば、ニオブ酸リチウムを分極反転することによって得た擬位相整合型パラメトリック発振器と和周波混合デバイスを用いることができ、非線形光学媒質23としては、例えば、リチウムトリボレート（LBO）や、 β バリウムボレート（ β -BBO）等を用いることができる。

【0027】上述のように、単一波長の赤、緑、青の光を、固体レーザの出力光、または固体レーザの出力光の波長変換によって生成される光に基づいて生成することにより、光源装置11を小型化でき、且つ高効率で光を発生させることが可能となる。

【0028】例えば、2000ルーメン程度の全光束をスクリーン2上で得るには、現状では、単一波長の赤、緑、青の光を、上述のように固体レーザの出力光の波長変換によって生成するのが最も有望であるが、本発明は、単一波長の赤、緑、青の光を固体レーザを用いて生成するものに限定されず、他のレーザを用いて赤、緑、青の光を生成するものも含む。例えば、可視半導体レーザを用いて赤、緑、青の光を生成する場合でも、固体レーザを用いる場合と同等の効果が得られる。

【0029】次に、図7ないし図12を参照して、本実施の形態において、赤色光の波長を625nmから635nmの範囲に選定し、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定し、青色光の波長を455nmから465nmの範囲に選定している理由について説明する。

【0030】まず、図7を参照して、赤色光の波長を625nmから635nmの範囲に選定し、青色光の波長を455nmから465nmの範囲に選定している理由について説明する。図7は、本実施の形態に係るレーザ

ディスプレイ装置における3原色を用いて可能な色再現範囲(カラー・ガミュート)を示すためのXY色度図である。この図において、aはスペクトル色度軌跡、bはヨーロッパで標準化されたヨーロッパ・ガミュート、cは本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置によるカラー・ガミュート、dはNTSC方式において標準化されたカラー・ガミュート、eはNTSC方式によるカラーテレビジョンの3色蛍光体における実際のカラー・ガミュート、fはカラーフィルムのカラー・ガミュートを表している。また、図中、R、G、Bは、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色である赤、緑、青の座標を示している。図7から分かるように、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置によるカラー・ガミュートは、スペクトル色度軌跡の内側で、最も広い色再現範囲を有している。一般に、カラーテレビジョンの3色蛍光体の色再現範囲は緑の方向に広く、一言で言うと「鮮やかな色再現」を特徴としているので、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置では、カラーテレビジョンの3色蛍光体による色再現に比べて彩度の高い「極めて鮮やかな色再現」が可能であることが分かる。

【0031】一般に、赤、緑、青の3原色のうち、赤の波長としてより長波長側を選定し、青の波長としてより短波長側を選定することで、図7において色再現範囲をより広くすることが可能となる。しかしながら、そうすると、赤、青共に視感度が低下するため、3原色を混色して得られる色再現範囲内の色(例えば所定の白色)を等色するのに要する赤色光と青色光の放射パワーが増大し、実現が困難となる。色再現範囲内の色を等色するのに要する赤色光と青色光の放射パワーを小さくする観点からは、赤の波長としてより短波長側を選定し、青の波長としてより長波長側を選定することが好ましい。そこで、本実施の形態では、十分に広い色再現範囲の確保と、赤色光と青色光に関して十分な出力を容易に得ることを両立させるために、赤色光の波長を625nmから635nmの範囲に選定し、青色光の波長を455nmから465nmの範囲に選定している。

【0032】次に、図8ないし図11を参照して、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定した理由について説明する。図8ないし図10は、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いたときの赤、緑、青の各色の等色関数を波長380nmから700nmの範囲で計算した結果を示す特性図である。図8は、赤色光を630nm、青色光を460nm、緑色光を525nmの単一波長とした場合を表し、図9は、赤色光を630nm、青色光を460nm、緑色光を532nmの単一波長とした場合を表し、図10は、赤色光を630nm、青色光を460nm、緑色光を535nmの単一波長とした場合を表している。図11は、比較のために、NTSC方式によるカラーテレビ

ジョンの3色蛍光体における赤、緑、青の各色の等色関数を波長380nmから700nmの範囲で計算した結果を示す特性図である。なお、図8ないし図11において、Rは赤の等色関数、Gは緑の等色関数、Bは青の等色関数を表している。

【0033】一般に、実在する色を3原色とすると、それらの等色関数には、純粋に光学的に実現できない負の部分が必ず発生する。等色関数は、カラーセンサによる色再現を前提としたときの赤、緑、青の各カラーセンサの分光感度曲線とすることができるので、光学的に実現できない負の部分は極力小さい方が望ましい。本実施の形態において、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定したのは、赤、緑、青の各色の等色関数が有する負の部分を極力小さくするためである。図8ないし図10を比較すると、図8が、図8ないし図10の中では青色の等色関数の負の部分が最も大きく、図10が、図8ないし図10の中では赤色の等色関数の負の部分が最も大きい。しかし、図8ないし図10に示した等色関数は、いずれも図11に示したNTSC方式によるカラーテレビジョンの3色蛍光体における赤、緑、青の各色の等色関数に比べると、負の部分がはるかに小さいという優位性が認められる。一方、緑色光の波長が525nmから535nmの範囲を越えると、青色あるいは赤色の等色関数の負の部分が一層顕著になり、優位性が失われていく。そこで、本実施の形態では、緑色光の波長を525nmから535nmの範囲に選定している。

【0034】ここで、図12を参照して、赤色光の波長が625nmから635nm、緑色光の波長が525nmから535nm、青色光の波長が455nmから465nmの範囲では、等色関数の負の部分が十分小さくなることを示す。図12は、赤色光の波長625～635nmをX軸にとり、青色光の波長455～465nmをY軸にとり、緑色光の波長をパラメータにとって、緑色光の波長が525～535nmのときの赤、緑、青の各色の等色関数の負の部分の面積積分値の2乗和をとり、それらの平均値を評価関数とし、その評価関数の値を等高線で示したものである。図中、符号31は評価関数の値が1.08以上1.095未満の領域、符号32は評価関数の値が1.065以上1.08未満の領域、符号33は評価関数の値が1.05以上1.065未満の領域、符号34は評価関数の値が1.035以上1.05未満の領域、符号35は評価関数の値が1.02以上1.035未満の領域、符号36は評価関数の値が1.005以上1.02未満の領域を表している。

【0035】図12において、青色光の波長460nmの線を中心とする評価関数の値の谷は、赤色光の波長635nm側に開きながら落ち込んでいく。しかし、赤色光の波長が過度に長波長になるのは、視感度の点で不利となる。従って、青色光の波長460nm、赤色光の波長630nmを中心とする盆地が最適な領域となる。な

お、図12に示した範囲内では、評価関数の値は1～1.1の範囲内に収まり、いずれも使用可能な値である。すなわち、図12に示した範囲内では、等色関数の負の部分が十分小さい。

【0036】ところで、従来のレーザディスプレイ装置では、コヒーレントなレーザ光を使用するため、スクリーン上に干渉によるスペックル雑音が見れるという問題点があった。本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置では、フライアイレンズアレイ14を用いて空間光変調器16に対する照明光を均一化すると共に、光偏光器13を用いて、空間変調器16におけるフレーム周波数よりも高い周波数で光を偏向することによって、空間光変調器16に対する照明光の入射角を振動させることによって、スクリーン2上のスペックル雑音を低減（消失する場合を含む。）している。以下、本実施の形態におけるスペックル雑音の低減について詳しく説明する。

【0037】まず、光偏光器13による光の偏向の周波数とスペックル雑音の低減の効果との関係について説明する。空間変調器16におけるフレーム周波数（例えば30Hz）よりも高い周波数で光を偏向すると、偏向に伴って変化するスペックルのランダムパターンがフレーム周期内で複数個発生することになり、これにより、フレーム周期内で複数のランダムパターンが時間的に平均化され、スペックル雑音が低減される。ここで、フレーム周期内におけるランダムパターンの個数が多いほど、ランダムパターンの時間的平均化の効果が顕著になる。文献「J. W. Goodman, J. Opt. Soc. Am. 66巻、第1145ページ（1976年）」には、ランダムパターンの個数と人間の目に対するスペックル雑音の低減の効果との関係が記載されている。この文献によれば、スペックルパターンのコントラストCは、ランダムパターンの個数Mを用いて、次式のように表される。

$$【0038】 C = 1/M^{1/2}$$

【0039】図13は、上式の関係を表したものである。なお、図13における横軸は、 $\log(M)$ である。上式および図13より、例えば、 $M=100$ のときには $\log(M)=2$ より、スペックルパターンのコントラストは、 $M=1$ の場合の100%から10%まで減少する。従って、理想的には、フレーム周期あるいは人間の目が一定箇所へ静止している時間（Persistence of vision時間）の近似値である1/20秒間に、ランダムパターンが100個以上あると、スペックル雑音の低減の効果が顕著になる。

【0040】次に、図14を参照して、光偏光器13による光の偏向角とスペックル雑音の低減の効果との関係について説明する。図14は、光偏光器13を用いてフライアイレンズアレイ14に入射する光束の角度を空間変調器16のフレーム周波数よりも高い周波数で振動させるときにおける、角度振幅（偏向角）の相対値 R_m と

スペックルのパワースペクトル密度との関係（パワースペクトル密度関数）を表したものである。ここでは、光源装置11の出力光の波長を λ 、フライアイレンズアレイ14のエレメントの開口を d としたとき、角度振幅の相対値 R_m の単位を λ/d としている。なお、図14において横軸は、空間周波数であり、単位を $d/(\lambda f)$

（ただし、 f はコンデンサレンズ15の焦点距離）としている。従って、図14は、いろいろな空間周波数におけるスペックルのコントラストを表していると言える。図14に示したように、角度振幅の相対値 R_m が大きいほど、スペックルのパワースペクトル密度が小さくなる。角度振幅の相対値 R_m の単位を λ/d としていることから、図14から、角度振幅（偏向角）が λ/d よりも大きいほど、スペックルのパワースペクトル密度が小さくなり、スペックル雑音の低減の効果が顕著になると言える。従って、角度振幅（偏向角）は、 λ/d （ラディアン）よりも大きいことが好ましく、特に λ/d の5倍以上が好ましい。

【0041】ところで、図1に示した構成において、光源装置11を紫外パルスレーザに置き換え、空間変調器16をIC露光用マスクに置き換え、スクリーン2をフォトレジスタに置き換えた投影露光装置は公知である。これを実験的に解析した論文「市原ら、SPIEプロシーディングス、1138巻、第137～143ページ（1989年）」によれば、上記角度振幅として λ/d の2倍が、フォトレジスタ上のスペックル消しという目的に最適であったと記載されており、本実施の形態における図14に示した結果と明らかに相違している。

【0042】その理由は、前出の論文中にはスペックルのパワー密度関数の計算が示されていないため不明であるが、投影露光装置のようにパルスレーザを用いるときには、原理的に角度振幅が離散値しかとることが許されないが、本実施の形態のように、連続発振レーザを用いるときには、角度振幅が連続値をとることが許されることが相違の一因と考えられる。

【0043】上述のように、スペックル雑音の低減に関しては、フレーム周期あるいは人間の目が一定箇所へ静止している時間（Persistence of vision時間）の近似値である1/20秒間に、スペックルパターンのランダムパターンが100個以上あることが好ましい。ここで、1/20秒間に100個のスペックルパターンのランダムパターンを発生させることを考えると、そのために必要な光偏向器13の偏向の周波数は2kHzとなる。一方、角度振幅は、 $d=4\text{mm}$ 、 $\lambda=532\text{nm}$ のとき、 $R_m=10$ とすると、約1ミリラディアンである。このような周波数および角度振幅の偏向を可能とする光偏向器13は、共振型振動鏡を用いれば十分実現可能である。

【0044】ところで、図1に示した構成において、光源装置11を紫外パルスレーザに置き換え、空間変調器16をIC露光用マスクに置き換え、スクリーン2をフォトレジスタに置き換えた投影露光装置は公知である。これを実験的に解析した論文「市原ら、SPIEプロシーディングス、1138巻、第137～143ページ（1989年）」によれば、上記角度振幅として λ/d の2倍が、フォトレジスタ上のスペックル消しという目的に最適であったと記載されており、本実施の形態における図14に示した結果と明らかに相違している。

の間隔は、フライアイレンズアレイ14のエレメントの開口(周期) d に等しい。このような2次光源と、焦点距離 f のコンデンサレンズ15を用いて空間変調器16を照明するとき、各2次光源に対応する平行光束は、互いに d/f の角度をなすため、空間変調器16上では、次の式(1)で表される主周期 p_1 の干涉縞が形成される。

$$【0045】 p_1 = \lambda f / d \quad \cdots (1)$$

【0046】また、フライアイレンズアレイ14のエレメント数を N とすると、次の式(2)で表される副周期 p_2 の干涉縞が付随して形成される。

$$【0047】 p_2 = \lambda f / (Nd) \quad \cdots (2)$$

【0048】上記のような干涉縞がスクリーン2上の画像に影響を与えるのは好ましくない。そこで、空間変調器16の画素周期を p としたとき、この画素周期 p が、空間変調器16上での干涉縞の主周期 $p_1 = \lambda f / d$ と等しくなるようにすれば、空間変調器16の各画素を照明する光束が均等になり、主周期の干涉縞がスクリーン2上の画像に影響を与えるのを防止することができる。この場合、副周期の干涉縞は、各画素内で積分されるので、スクリーン2上の画像に影響を与えることはない。

【0049】上述のように、空間変調器16の画素周期 p を、空間変調器16上での干涉縞の主周期 $p_1 = \lambda f / d$ と等しくなるようにするには、 $p = \lambda f / d$ の関係より、コンデンサレンズ15の焦点距離 f を、 $p \cdot d / \lambda$ とすればよい。

【0050】更に、この条件下で、光偏向器13を駆動させたとき、空間変調器16上でのスペckルのパワースペクトル密度関数は、図14に示したようになり、スペckルパターン空間周波数成分は、 $1/p$ ($= d / (\lambda f)$) 毎に極大値を示す。

【0051】ここで、空間変調器16の画素サイズは、当然、画素周期 p 以下であるから、画素サイズを越える大きさのスペckルパターンは、空間変調器16が映像信号によって駆動されるとき、画素サイズ以下に分割され、空間変調器16の面上に存在しない。従って、画素サイズ以上のスペckルパターンは、空間変調器16の面を通過できない。

【0052】一方、画素サイズ以下のスペckルパターンは、投影レンズ17を介して、スクリーン2の面に到達し、最終的には観視者の瞳に到達するが、当然、ディスプレイの画素サイズは、観視者の目の分解能以下に選ばれるので、観視者の目の網膜上では画素サイズ以下のスペckルパターンを分解できず、網膜上で積分されることによって平均化される。

【0053】以上まとめると、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置におけるスペckル雑音の低減に関しては、空間変調器16の使用と、光偏向器13による空間変調器16に対する照明光の振動の双方が重要である。光偏向器13による照明光の振動のみでは、前出の

投影露光装置を解析した論文に記載されているように、フォトレジスト上に記録されるスペckルパターンを完全には消失させることができない。これは、フォトレジストの分解能が目の分解能に比べてはるかに高いためである。本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置において、空間変調器16は、スペckルパターンを目の分解能以下に細分する働きを分担する。

【0054】一方、空間変調器16の使用のみでは、画素サイズ以下のスペckルのエネルギーを十分抑制することができないので、網膜上で分解できないまでも、干涉によるちらつきは知覚として残る。従って、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置において、光偏向器13による照明光の振動は、画素サイズ以下のスペckルのエネルギーを十分抑制する働きを分担する。

【0055】ところで、空間変調器16上での干涉縞の周期(主周期)は、式(1)で与えたが、より正確には、次の式(3)の関係となる。

$$p_1 \sin \theta = \lambda \quad \cdots (3)$$

なお、 θ は、次の式(4)で与えられる。

$$\tan \theta = f / d \quad \cdots (4)$$

【0056】そこで、コンデンサレンズ15は、像高を y 、 y' 、画角を θ としたとき、 $y = f \tan \theta$ の特性よりも、むしろ、 $y' = f \sin \theta$ の特性を有している方が望ましい。ここで、 $y' - y$ は、歪曲収差と呼ばれ、例えばコンデンサレンズ15を、凹レンズと凸レンズの複合レンズからなるダブレット構成とすると、-1%程度の負の歪曲収差が発生して好適である。ここで、 $\Delta y = (y' - y) / y$ を、%歪曲収差と呼ぶこととして、図15に、入射角 θ と%歪曲収差との関係を示す。図中、符号41は、 $y' = f \sin \theta$ の特性を有しているレンズの場合の%歪曲収差の計算値 $\Delta y = (\sin \theta - \tan \theta) / \tan \theta$ を表し、符号42は、ダブレット構成のレンズの設計値に基づく%歪曲収差を表している。この図に示したように、コンデンサレンズ15をダブレット構成とすると、-1%程度の歪曲収差が発生し、これは、 $y' = f \sin \theta$ の特性を有しているレンズにおいて $\theta = 10^\circ$ としたときの%歪曲収差-1.5%に近くなる。

【0057】以下、コンデンサレンズ15が負の歪曲収差を有することが好ましい理由について説明する。照明光学系において、焦点距離を f とすると、像高 y と入射角 θ の関係が、次の式(5)であるとする(これを正弦条件と言う)。

$$y = f \sin \theta \quad \cdots (5)$$

【0058】すると、次の式(6)が成り立つ。

$$dy = f \cos \theta d\theta \quad \cdots (6)$$

【0059】一方、放射照度 E と放射輝度 I との関係は、次の式(7)で表される。

$$E 2 \pi y dy = I(\theta) 2 \pi \sin \theta d\theta \quad \cdots (7)$$

従って、次の式(8)が成り立つ。

$$I(\theta) = E f dy / d\theta \quad \cdots (8)$$

【0060】式(8)に式(6)を代入したものに極限操作をすると、次の式(9)が得られる。

$$I(0) = E f^2 \quad \cdots (9)$$

【0061】式(8)と式(9)より、次の式(10)が得られる。

$$I(\theta) = I(0) \cos \theta \quad \cdots (10)$$

【0062】従って、式(5)を満足する照明光学系で照明される物体は、放射輝度一定の面光源とみなすことができ、照明光学系としては好ましい。コンデンサレンズ15は、空間変調器16を照明する照明光学系をなすので、式(5)の特性を有している方が空間変調器16を均一に照明することができるので望ましい。そこで、コンデンサレンズ15を例えばダブルレット構成として、負の歪曲差を持たせると、式(6)に近似した特性を有することになるので、好ましくなる。

【0063】以上説明したように、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置によれば、赤色光の波長を625～635nmの範囲に選定し、青色光の波長を455～465nmの範囲に選定したので、従来のように気体レーザを用いてレーザディスプレイ装置を実現する場合に比べても色再現範囲を十分広くとることができ、しかも赤色光と青色光の視感度も高いので、十分広い色再現範囲の確保と、赤色光と青色光に関して十分な出力を容易に得ることを両立させることが可能となる。本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置によれば、更に、緑色光の波長を525～535nmの範囲に選定したので、赤、緑、青の各色の等色関数が有する負の部分の極力小さくすることが可能となり、実現が容易になる。その結果、従来のNTSC方式のカラーテレビジョンの3色蛍光体による色再現と比較しても彩度の高い、一言で言うと「極めて鮮やかな色再現」を特徴とするディスプレイ装置を実現することができる。

【0064】また、本実施の形態に係るレーザディスプレイ装置によれば、空間変調器16の使用と光偏向器13による空間変調器16に対する照明光の振動とを組み合わせることによって、観視者の目に到達するスペックル雑音を効果的に低減することができる。その結果、従来のインコヒーレント光源を用いたディスプレイと比較して、同様にスペックル雑音が無いにもかかわらず、コヒーレント光源である特質を活かした効率の高い光路設計(例えば、図3に示したような反射型の空間変調器16と、4分の1波長板18と、偏光ビームスプリッティング板19とを用いた光路設計)や、発光ダイオード等に比べて点光源に近いことを活かした光路設計が可能となり、効率の高いディスプレイ装置を実現することができる。

【0065】なお、本発明は上記各実施の形態に限定されず、例えば、実施の形態では、各色毎の画像投影部1R、1G、1Bが独立した構成のレーザディスプレイ装

置の例を挙げたが、本発明は、例えば、一つの空間変調器に対して、各色光を順次照射すると共に、空間変調器を各色画像に応じて順次駆動する面順次式のレーザディスプレイ装置にも適用することができる。なお、このように、光学系を各色光で共用する場合には、実施の形態において挙げた種々の好ましい条件のうち、波長 λ を含むものについては、波長 λ として、最も視感度および人間の目の解像度が高い緑色光の波長に関して成り立つようにしてもよい。

【0066】また、本発明は、空間変調器を用いて光を空間的に変調して画像を形成するレーザディスプレイ装置に限らず、光の強度を時間的に変調すると共に光を走査して画像を形成するレーザディスプレイ装置や、光の強度を時間的に変調すると共に空間的にも変調して画像を形成するレーザディスプレイ装置にも適用することができる。なお、光の強度を時間的に変調する場合には、レーザの駆動を制御してレーザの出力光自体を変調するようにしてもよいし、レーザより出射された光を変調器によって変調するようにしてもよい。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように請求項1ないし10のいずれかに記載のレーザディスプレイ装置によれば、赤色光の波長を625ナノメートルから635ナノメートルの範囲に選定し、青色光の波長を455ナノメートルから465ナノメートルの範囲に選定したので、十分広い色再現範囲の確保と、十分な出力を容易に得ることとの両立が可能になるという効果を奏する。

【0068】また、請求項2記載のレーザディスプレイ装置によれば、緑色光の波長を525ナノメートルから535ナノメートルの範囲に選定したので、更に、赤、緑、青の各色の等色関数が有する負の部分の極力小さくすることが可能となり、実現が容易になるという効果を奏する。

【0069】また、請求項5または6記載のレーザディスプレイ装置によれば、空間的光変調手段を備え、光偏向手段によって、空間的光変調手段におけるフレーム周波数よりも高い周波数で光を偏向して空間的光変調手段に照射するようにしたので、更に、スクリーン上のスペックル雑音を低減することができるという効果を奏する。

【0070】また、請求項8記載のレーザディスプレイ装置によれば、光源装置からの光の波長を λ 、フライアイレンズアレイの各エレメントの開口の大きさを d 、空間的光変調手段の画素周期を p としたとき、コンデンサレンズの焦点距離を $p \cdot d / \lambda$ としたので、更に、フライアイレンズアレイによって発生する干渉縞がスクリーン上の画像に影響を与えるのを防止することができるという効果を奏する。

【0071】また、請求項9記載のレーザディスプレイ装置によれば、空間的光変調手段として反射型の空間的

光変調器を用い、空間的光変調器の前面側に配設された4分の1波長板と、コンデンサレンズからの光を反射して、4分の1波長板を通して空間的光変調手段に対して略垂直に入射させると共に、空間的光変調手段によって変調され、4分の1波長板を通過した光を透過して、投影レンズに入射させる偏光ビームスプリッタとを備えたので、更に、光の利用効率を高めることができるという効果を奏する。

【0072】また、請求項10記載のレーザディスプレイ装置によれば、コンデンサレンズが負の歪曲収差を有するようにしたので、更に、空間的光変調手段をより均一に照明することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における画像投影部の概略の構成を示す説明図である。

【図2】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置の概略の構成を示す説明図である。

【図3】図1に示した画像投影部の詳細な構成の一例を示す説明図である。

【図4】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における赤色光の発生方法の一例を示す概念図である。

【図5】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における緑色光の発生方法の一例を示す概念図である。

【図6】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における青色光の発生方法の一例を示す概念図である。

【図7】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いて可能な色再現範囲を示す

ためのXY色度図である。

【図8】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いたときの等色関数を示す特性図である。

【図9】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いたときの等色関数を示す特性図である。

【図10】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いたときの等色関数を示す特性図である。

【図11】NTSC方式によるカラーテレビジョンの3色蛍光体における等色関数を示す特性図である。

【図12】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置における3原色を用いたときに等色関数の負の部分が十分小さくなることを示す説明図である。

【図13】スペックルパターンのランダムパターンの個数とスペックルパターンのコントラストとの関係を示す特性図である。

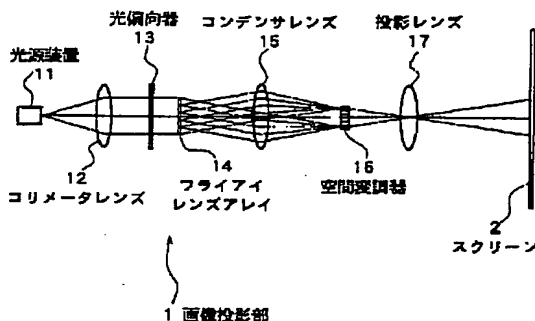
【図14】本発明の一実施の形態に係るレーザディスプレイ装置において光偏向器によって光の偏向したときの偏向角とスペックルのパワースペクトル密度との関係を示す特性図である。

【図15】レンズの入射角と歪曲収差との関係を示す特性図である。

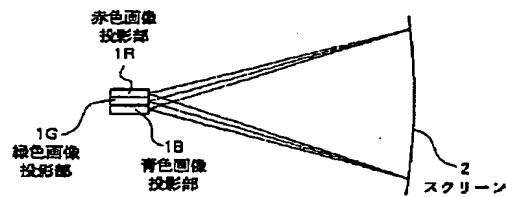
【符号の説明】

1R…赤色画像投影部、1G…緑色画像投影部、1B…青色画像投影部、2…スクリーン、11…光源装置、12…コリメータレンズ、13…光偏向器、14…フライアイレンズアレイ、15…コンデンサレンズ、16…空間変調器、17…投影レンズ。

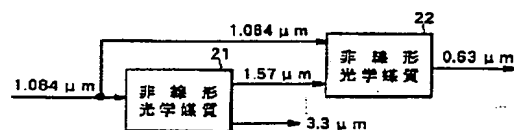
【図1】



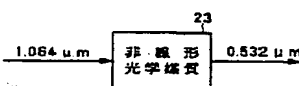
【図2】



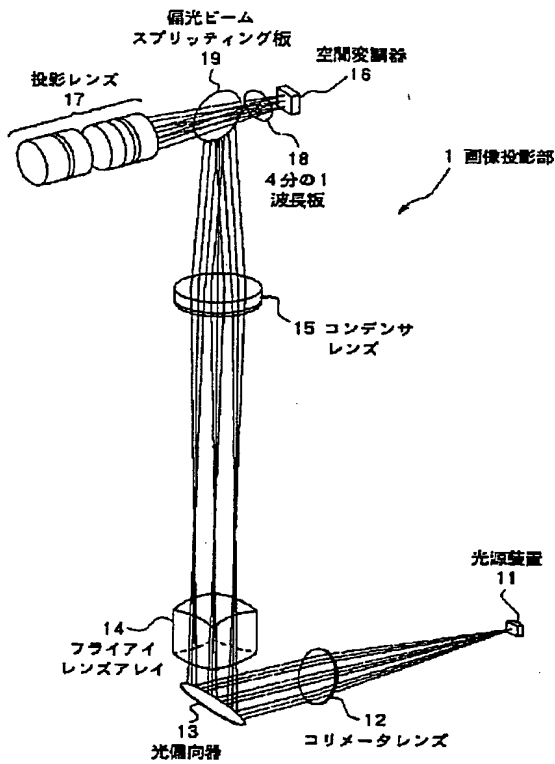
【図4】



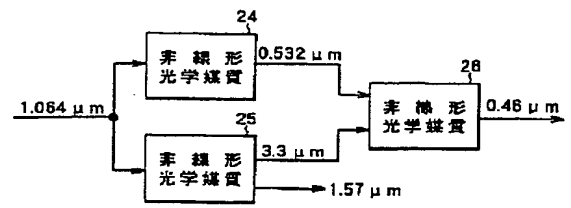
【図5】



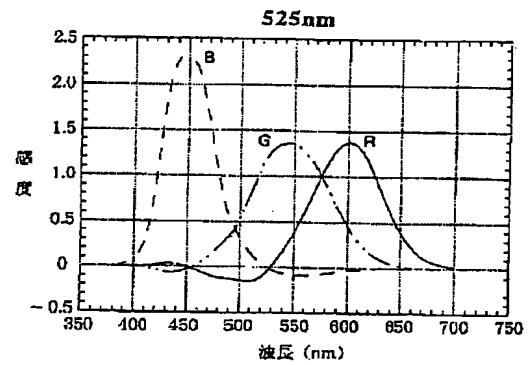
【図3】



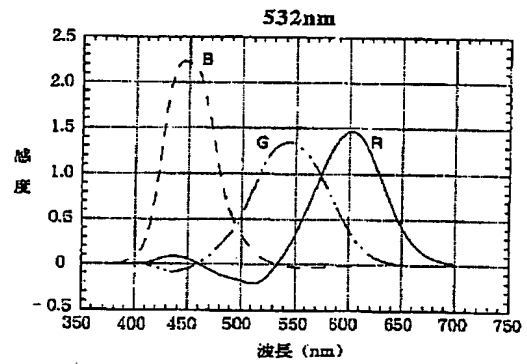
【図6】



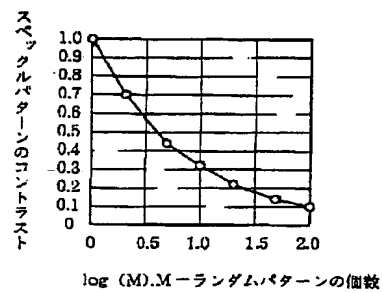
【図8】



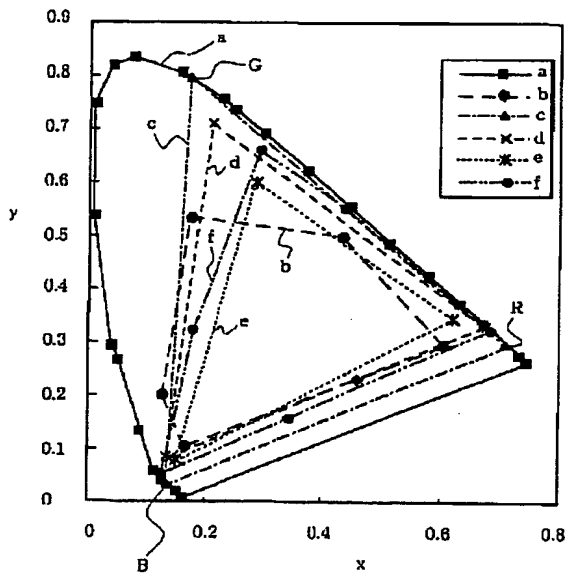
【図9】



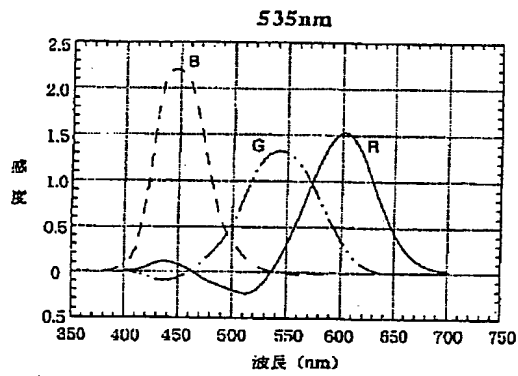
【図13】



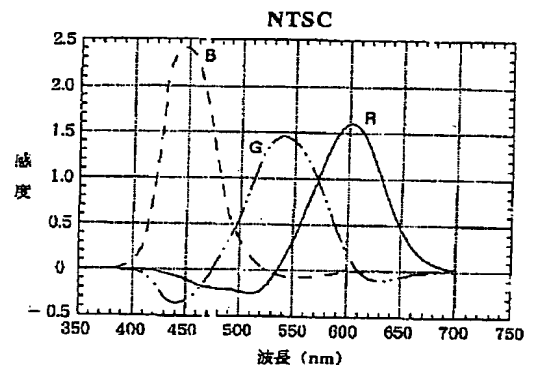
【図7】



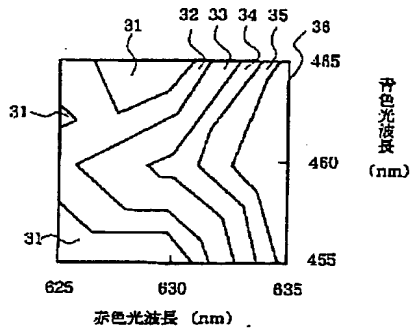
【図10】



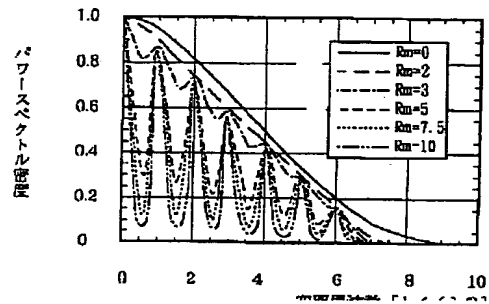
【図11】



【図12】



【図14】



【図15】

